

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11)特許番号

第2842579号

(45)発行日 平成11年(1999) 1 月 6 日

(24)登録日 平成10年(1998)10月23日

(51)Int.Cl.⁶

C 2 2 C 38/00
38/46

識別記号

3 0 1

F I

C 2 2 C 38/00
38/46

3 0 1 Z

請求項の数 5 (全 11 頁)

(21)出願番号 特願平4-232399

(22)出願日 平成4年(1992) 8 月31日

(65)公開番号 特開平5-195153

(43)公開日 平成5年(1993) 8 月3日

審査請求日 平成5年(1993) 6 月21日

審判番号 平8-12584

審判請求日 平成8年(1996) 8 月1日

(31)優先権主張番号 特願平3-283588

(32)優先日 平3(1991)10月2日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(73)特許権者 999999999

株式会社 神戸製鋼所

兵庫県神戸市中央区脇浜町1丁目3番18号

(72)発明者 外山 雅雄

兵庫県神戸市灘区灘浜東町2番地 株式会社神戸製鋼所神戸製鉄所内

(72)発明者 永松 孝彦

兵庫県神戸市灘区灘浜東町2番地 株式会社神戸製鋼所神戸製鉄所内

(74)代理人 弁理士 植木 久一

合議体

審判長 影山 秀一

審判官 山岸 勝喜

審判官 鈴木 正紀

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 疲労強度の優れた高強度ばね用鋼

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

C : 0.3~0.5% (重量%の意味、以下同じ)

Si : 1.0~4.0%

Mn : 0.2%以上0.5%未満

Ni : 0.5~4.0%

Cr : 0.3~5.0%

Mo : 0.1~2.0%

V : 0.1~0.5%

を夫々含有し、残部鉄および不可避不純物からなり、
550-333[C]-34[Mn]-20[Cr]-17[Ni]-11[Mo]≥300

(但し、[元素]は各元素の重量%を表す)の関係を満足すると共に、被検面積160mm²内において平均粒子径50μm以上の酸化物系介在物を含まず、且つ平均粒子径20μm以上の酸化物系介在物が10個以下である

2

ことを特徴とする疲労強度の優れた高強度ばね用鋼。

【請求項2】 更に他の元素として、Nb : 0.05~0.5%および/またはCu : 0.1~1.0%を含有するものである請求項1に記載の高強度ばね用鋼。

【請求項3】 更に他の元素として、Al : 0.01~0.1%および/またはCo : 0.1~5.0%を含有するものである請求項1または2に記載の高強度ばね用鋼。

【請求項4】 不可避不純物における、酸素が15ppm以下、窒素が100ppm以下、磷が100ppm以下、硫黄が100ppm以下に制限されたものである請求項1~3のいずれかに記載の高強度ばね用鋼。

【請求項5】 C、Si、NiおよびCrの含有量が
50[Si]+25[Ni]+40[Cr]-100[C]≥230

(但し、[元素]は各元素の重量%を表す)の関係を満

たし、耐食性の改善されたものである請求項1～4のいずれかに記載の高強度ばね用鋼。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、内燃機関の弁ばねや懸架ばね等を使用される高強度ばね用鋼に関し、特に材料強度が 200kgf/mm^2 以上であり、しかもばね特性として要求される疲労寿命およびへたり特性を十分に満足し、更には耐食性を高めて腐食疲労特性の改善された高強度ばねを製造する為のばね用鋼に関するものである。

【0002】

【従来の技術】ばね用鋼の化学成分はJIS G3565～3567、4801等に規定されており、それから製造された圧延材に対して所定の線径まで伸線加工し、その後オイルテンパー処理後ばね加工（冷間加工）したり、圧延材を伸線加工した後、加熱してばね成形した後焼入れ焼戻し（熱間加工）を行なうこと等により、各種ばねが製造されている。近年ばねに対する要求が次第にきびしくなるにつれ、各種の合金鋼に夫々熱処理を施したものが多く利用されている。

【0003】従来のばね鋼においては、焼入れ焼戻し後の強度が $160\sim 180\text{kgf/mm}^2$ 程度であるのが一般的であるが、強度が 200kgf/mm^2 以上の高強度ばね用鋼が要求されるようになってきた。従来鋼の強度を熱処理等によって 200kgf/mm^2 以上にすることも可能であるが、その様にした場合、ばね特性として必要な疲労寿命およびへたり特性が満足できないという問題があった。

【0004】更に一般的傾向として、ばね用鋼においては素線の強度を高めるにつれて、ばね特性の一つである*

Nb: $0.05\sim 0.5\%$ および/またはCu: $0.1\sim 1.0\%$

を含有し、あるいは更に他の成分として

Al: $0.01\sim 0.1\%$ および/またはCo: $0.1\sim 5.0\%$

を含有し、残部鉄および不可避不純物からなり、 $550-333[\text{C}]-34[\text{Mn}]-20[\text{Cr}]-17[\text{Ni}]-11[\text{Mo}]\geq 300$

（但し、[元素]は各元素の重量%を表す）の関係を満足すると共に、被検面積 160mm^2 内において平均粒子径 $50\mu\text{m}$ 以上の酸化物系介在物を含まず、且つ平均粒子径 $20\mu\text{m}$ 以上の酸化物系介在物が10個以下であるところに要旨を有するものである。

【0007】また本発明においては、上記構成に加えて、不可避不純物における酸素を15ppm以下、窒素を100ppm以下、燐を100ppm以下、硫黄を100ppm以下に制限することにより、疲労強度やばね特性を一段と高めることができる。

【0008】更には、上記鋼中のC、Si、NiおよびCrの各含有量が

$50[\text{Si}]+25[\text{Ni}]+40[\text{Cr}]-100[\text{C}]\geq 230$

（但し、[元素]は各元素の重量%を表す）の関係を満たす様に各元素の含有量を調整することによって鋼材の耐食性を高めることができ、腐食疲労特性の非常に優れ

*腐食疲労特性が著しく低下する傾向があることは良く知られている。腐食疲労特性が悪化する一つの理由としては、使用中にばね表面に深さ約 $100\mu\text{m}$ 程度の孔食が生じ、それが応力集中源となって疲労亀裂の発生・進展の起点となることが挙げられる。また、高強度化するにつれて傷に対する感受性も敏感になると言われている。このため、比較的短い使用期間で折損等を生ずることが懸念され、特に北米地方の様に冬季に凍結防止剤として塩を撒く様な高腐食環境下で使用される自動車部品などとして使用する場合は、腐食疲労特性が大きな問題となる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】本発明はこの様な事情に着目してなされたものであって、その目的は、強度が 200kgf/mm^2 以上であり、しかも耐疲労特性や耐へたり特性、更には耐腐食疲労特性にも優れた高強度ばねを与えるばね用鋼を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成し得た本発明の高強度ばね用鋼とは、

C: $0.3\sim 0.5\%$ （重量%の意味、以下同じ）

Si: $1.0\sim 4.0\%$

Mn: 0.2% 以上 0.5% 未満

Ni: $0.5\sim 4.0\%$

Cr: $0.3\sim 5.0\%$

Mo: $0.1\sim 2.0\%$

V: $0.1\sim 0.5\%$

を夫々含有し、あるいは更に、

Nb: $0.05\sim 0.5\%$ および/またはCu: $0.1\sim 1.0\%$

た高強度ばね用鋼を得ることができる。

【0009】

【作用】材料を高強度化して疲労寿命を向上させるためには、素材の韌性向上を図る必要がある。従来のばね用鋼では弾性限を高めるという観点から炭素含有量の比較的高い鋼が用いられてきたのであるが、素材の韌性向上を図るため、炭素量を従来のばね用鋼の含有量から大幅に減少させることが有効であることは厚板の結果から明らかである。但し、引張強度を 200kgf/mm^2 レベル以上に高めるという観点からすれば、炭素量を減少し過ぎると焼入れ焼戻し後の強度不足を招くので、炭素量の低減には自ずと限界がある。また合金元素を適切な範囲に調整しつつ、添加する必要がある。

【0010】本発明者らは、韌性向上の観点から炭素の適切な範囲として $0.3\sim 0.5\%$ を選び、この範囲における各種合金元素量が焼入れ焼戻し後の強度および韌性へ与える影響について調査した。その結果上記炭素量の範囲において焼入性向上元素を多量に添加した場合に

は、焼入れ焼戻し後の強度が逆に低下することがわかった。これは合金元素量を増やすことにより、焼入れ焼戻し後の残留オーステナイト量が増大して強度が低下するものと考えられる。この様な観点から、高強度ばねとして必要な強度および靱性を確保するには、各合金元素の添加割合を適切な範囲に調整するのは勿論であるが、少なくとも下記(1) 式の関係を満たす必要があることがわかった。

$$(550-333[C]-34[Mn]-20[Cr]-17[Ni]-11[Mo]) \geq 300$$

(1)

(但し、[元素] は各元素の含有%を示す)

【0011】一方、先に説明した様に引張り強度が 200 kgf/mm^2 以上の高強度鋼になると腐食疲労特性が著しく悪くなる。これは、高強度化に伴って傷などの欠陥に対する感受性が敏感になるためと思われ、腐食環境下に曝らすとばねの表面に孔食が生じ、これが亀裂発生の起点となって折損等を起こす原因となる。その為、腐食環境下に曝らされた場合でも表面に孔食を生じさせないように合金元素を適量添加する必要がある。従って本発明では、後述する如く耐孔食性改善の為の合金元素を適量含有させるが、本発明者らが種々研究を重ねたところによると、合金元素のうち Cr 、 Ni 、 Si と C の添加量が耐孔食性に大きな影響をもたらし、下記(2) 式の関係を満たす様にこれら各元素の含有量を調整してやれば、耐孔食性が著しく改善され、腐食疲労特性の非常に良好なばね用鋼が得られることを知った。

$$50[Si]+25[Ni]+40[Cr]-100[C] \geq 230 \quad (2)$$

(但し、[元素] は各元素の含有%を表す)

【0012】更に本発明のばね用鋼においては、鋼を清浄化して不純介在物量を可及的に少なくすることによって疲労強度を高めることができるが、特に酸化物系介在物のサイズが疲労特性に顕著な影響を及ぼすこと、そしてその基準として、被検面積 160 mm^2 において平均粒子径 $50 \mu\text{m}$ 以上の酸化物系介在物を含まず、且つ平均粒子径 $20 \mu\text{m}$ 以上のものが 10 個以下に制限されたものは、非常に優れた耐疲労特性を発揮することが明らかとなった。ここで平均粒子径とは、酸化物系介在物の長径と単径の平均値を意味し、また被検面とは、供試鋼材断面における表層から 3 mm までの領域をいう。次に、本発明に係る高強度ばね用鋼における化学成分の限定理由を説明する。

【0013】 C : $0.3 \sim 0.5\%$

C は焼入れ焼戻し後の強度を確保するために必要な元素である。 C 含有量が 0.3% 未満では、焼入れ後のマルテンサイトの硬さが低くなり過ぎ、焼入れ焼戻し後の強度が不足する。また 0.5% を超えて過剰に添加すると、焼入れ焼戻し後の靱性が劣化するばかりでなく、希望する疲労特性や腐食疲労特性が得られなくなる。

【0014】 Si : $1.0 \sim 4.0\%$

Si は固溶強化元素として必要であり、 1.0% 未満で

はマトリックスの強度が不十分になる。しかしながら

4. 0% を超えて添加すると、焼入れ加熱時に炭化物の溶け込みが不十分になり、高温度に加熱しないと均一にオーステナイト化しなくなって焼入れ焼戻し後の強度が低下するばかりか、ばねにおける耐へたり特性も悪くなる。 200 kgf/mm^2 以上の強度を安定して得るためのより好ましい Si 量は $1.5 \sim 3.5\%$ の範囲である。

【0015】 Mn : 0.2% 以上 0.5% 未満

Mn は焼入れ性向上元素として 0.2% 以上は必要である。しかし Mn は焼入れ焼戻し後の素材に対して水素透過性を高め、その結果として腐食環境下での水素脆化を促進させる。従って、水素脆化による粒界破壊の発生を防止し疲労寿命の低下を防止するという観点から、 0.5% 未満に抑える必要がある。

【0016】 Ni : $0.5 \sim 4.0\%$

Ni は焼入れ焼戻し後の素材靱性を向上させ、且つ耐孔食性を高める作用があり、更にはばね特性として重要な耐へたり性を大幅に改善する作用があり、これらの作用を有効に発揮させるためには少なくとも 0.5% 以上含有させなければならない。しかし 4.0% を超えて含有させると Ms 点が低下し、残留オーステナイトの影響により所定の引張強度が得られなくなる。尚、 Ni は高価な金属であるので、経済性を考慮してより好ましい含有量は $0.5 \sim 2.0\%$ の範囲である。

【0017】 Cr : $0.3 \sim 5.0\%$

Cr は Mn と同様に焼入れ性向上に有効である。また Cr は耐熱性を改善する元素でもある。更に、ばね特性として重要な耐へたり特性を大幅に改善することが種々の検討から明らかになった。こうした効果は 0.3% 以上含有させることによって有効に発揮されるが、多過ぎると焼入れ焼戻し後の靱性が低下する傾向があるので、上限は 5.0% と定めた。良好な強度-延性バランスを得る意味からより好ましい Cr 量は $0.3 \sim 3.5\%$ の範囲である。

【0018】 Mo : $0.1 \sim 2.0\%$

Mo は炭化物生成元素であり、焼戻し時に微細な合金炭化物を析出させ、2次硬化を促進させることによって耐へたり特性および耐疲労特性を向上させる。 0.1% 未満ではその効果が不十分であり、 2.0% でそれらの効果は飽和し、それ以上含有させることは無駄である。

【0019】 V : $0.1 \sim 0.5\%$

V は結晶粒度を微細化して耐力比を高め、耐へたり特性を改善するのに有効である。この効果を有効に発揮させるには 0.1% 以上の添加が必要である。しかしながら 0.5% を超えて添加すると、焼入れ加熱時にオーステナイト中に固溶されない合金炭化物量が増大し、大きな塊状物となって残存することから疲労寿命を低下させる。

【0020】本発明の高強度ばね用鋼は、以上の元素を基本成分とし、残部鉄および不可避不純物からなるもの

10

20

30

40

50

であるが、必要に応じてNbおよび／またはCu、Al
および／またはCoを含有させることによって、その特
性を一段と改善することが可能である。これらの元素を
添加するときの好ましい含有量は下記の通りである。

【0021】Nb：0.05～0.5%

NbはVと同様に結晶粒度を微細化して耐力比を向上さ
せ、耐へたり性を改善する作用があり、その効果は0.
05%以上含有させることによって有効に発揮される。
しかし0.5%を超えて含有させてもそれ以上の効果は
得られず、むしろ焼入れ加熱時に粗大な炭窒化物が生成
して耐疲労寿命を劣化させる。

【0022】Cu：0.1～1.0%

Cuは電気化学的に鉄より貴な元素であり、腐食環境中
で全面腐食を促進させることによって耐孔食性を高める
作用がある。こうした作用は0.1%以上の添加で有効
に発揮されるが、1.0%を超えて含有させてもそれ以
上の効果は得られず、むしろ熱間圧延時に素材の脆化を
引き起こす恐れが生じてくる。

【0023】Al：0.01～0.1%

Alは脱酸を容易にする元素であり、その効果は0.0
1%以上の添加によって有効に発揮される。しかし0.
1%を超えて添加するとAl₂O₃の粗大介在物を生成
して耐疲労特性を低下させる。

【0024】Co：0.1～5.0%

Coは固溶強化元素であり、且つ韌性も劣化させない
という特性があり、更には耐食性を高める作用も有して
おり、それらの作用は0.1%以上、より好ましくは1.
0%以上含有させることによって有効に発揮される。し
かし高価な元素であるため5.0%を一応の上限とし
た。

【0025】また不可避不純物として混入してくるO、
N、P、Sは、非金属介在物となって強度や疲労特性あ
るいは水素脆性を悪化させるのでできるだけ少なく抑え
ることが好ましいが、下記の量であれば実質的な障害は
生じない。

【0026】O：15ppm以下、N：100ppm以下
Oは、疲労破壊の起点となる酸化物系介在物（特にAl
₂O₃）を生成して強度劣化の原因となるので、より高
強度化するには15ppm以下、より好ましくは10ppm
以下に抑えることが望まれる。またNは、焼入れ焼戻し
後の延性や韌性を低下させるため100ppm以下に抑え
るのがよい。

【0027】P：100ppm以下、S：100ppm以下
Pは粒界偏析を起こして素材を脆化させる元素であり、
特に水素脆化を助長し易いため、Pの含有量が多くな
るとその危険度が増大してくる。従ってより高強度化す
るには、Pを100ppm以下に抑えることが望まれる。ま
た、SもMnS系介在物等の生成より素材を脆化させる
不純元素であり、100ppm以下に抑えることが望まれ
る。

【0028】ところで高強度ばねを製造するに当たって
は、上記の様な成分組成範囲および前記(1)式や(2)式
の関係を満足するばね用鋼を用い、焼入時の冷却終了温
度を50℃以下にし、引き続き焼戻し処理するのがよ
い。これによって希望する高強度・高韌性のばねを得る
ことができる。尚通常のばね鋼の焼入れは、焼割れ発生
防止という観点から油焼入れが採用されており、油の粘
性等を考慮してその温度は70～80℃とされており、
通常の油焼入れでは焼入れ時の冷却終了温度を50℃以
下にするのは難しい。しかしながら焼入れ初期を油で
冷却して500℃以下の温度範囲を水冷する方法、或は
水に水溶性焼入れ剤等を添加することによって焼割れを
防ぐ方法等を採用することによって、上記の様な焼入れ
条件を達成することができる。

【0029】以下本発明を実施例によって更に詳細に説
明するが、下記実施例は本発明を限定する性質のもの
ではなく、前・後記の趣旨に適合し得る範囲で適当に変更
して実施することはいずれも本発明の技術的範囲に含ま
れるものである。

【0030】

【実施例】表1、2に示すNo.1～31の化学成分鋼を
溶製した後、鍛造で115mmの角ビレットを製作し、線
材圧延によって直径11mmの線材まで圧延した。焼鈍お
よび伸線加工を施した後、焼入れ焼戻し処理を行なっ
た。このとき焼入れ加熱温度は950℃として油焼入れ
を行ない、焼戻し温度は400℃とした。熱処理後のサ
ンプルから引張り試験片、残留剪断歪測定試験片、回転
曲げ疲労試験片および腐食試験片を準備し、夫々の試験
に供した。残留剪断歪測定試験、回転曲げ疲労試験およ
び腐食試験の各条件は下記の通りである。

【0031】

〔残留剪断歪測定試験〕

（ばね諸元）

材料の線径：9.0mm

コイル平均径：85mm

総巻き数：7巻

有効巻き数：5.5巻

自由高さ：320mm

（セッチング応力）

最大剪断応力：140kgf/mm²

（試験条件）

締付け応力：130kgf/mm²

試験温度：80℃

試験時間：72時間

（残留剪断歪の算出方法）

$$\tau \Delta p = 8 D \Delta p / \pi d^3 \quad (2)$$

$$\tau = G \gamma \quad (3)$$

(2)、(3)式より

$$\gamma \Delta p = \tau \Delta p / G \times 100$$

但し、 $\tau \Delta p$ ：荷重損失量に相当するねじり応力(kgf/cm²)

mm^2)

 d : 線径(mm)

 D : コイル平均径

 Δp : 荷重損失量

 G : 横弾性係数(kgf/mm²) (8 0 0 0 kgf/mm² を採用)

【0 0 3 2】

[回転曲げ疲労試験]

(試験条件)

試験温度: 室温

表面状態: ショットピーニング肌

(疲労限の判定)

1 0⁷ 回を2度クリアーしたときの試験応力

【0 0 3 3】

[酸化物系介在物測定方法]

対象材: 直径 1 1 mm の圧延材の縦断面

測定面積: 1 6 0 mm² (表層から 3 mm まで)

測定装置: 光学顕微鏡

平均粒子径: (長径+短径) / 2

【0 0 3 4】

[腐食試験方法]

腐食条件: 1 サイクル 塩水噴霧×8 hr→3 5 °C, 6 0 %RH×1 6 hr

サイクル数: 1 4 サイクル

10 孔食深さ測定法: 熱処理後横断面観察(光学顕微鏡)

試験結果を前記(1) 式および(2) 式の値、並びに酸化物系介在物のうち被検面積 1 6 0 mm² 内における平均粒子径 2 0 μm 以上のものの数と共に表 3、表 4 に示す。

【0 0 3 5】

【表 1】

No	鋼 種	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Co	Cu	O	N	P	S	その他
1	発明鋼	0.40	2.40	0.44	1.85	0.80	0.48	0.18	—	—	0.0006	0.0055	0.007	0.008	—
2	発明鋼	0.35	2.70	0.41	2.00	2.00	0.40	0.18	—	—	0.0008	0.0060	0.006	0.009	—
3	発明鋼	0.47	2.40	0.40	2.10	0.90	0.35	0.20	—	—	0.0006	0.0049	0.007	0.007	—
4	発明鋼	0.40	3.50	0.43	1.80	0.95	0.40	0.20	—	—	0.0009	0.0071	0.008	0.009	—
5	発明鋼	0.40	1.50	0.43	1.80	2.30	0.40	0.19	—	—	0.0010	0.0052	0.006	0.005	—
6	発明鋼	0.40	2.40	0.40	0.50	1.50	0.40	0.18	—	—	0.0006	0.0057	0.006	0.008	—
7	発明鋼	0.40	2.40	0.41	2.40	0.85	0.30	0.21	—	0.30	0.0005	0.0047	0.008	0.006	—
8	発明鋼	0.40	2.40	0.40	2.10	0.85	0.40	0.19	1.00	—	0.0007	0.0062	0.005	0.005	—
9	発明鋼	0.40	2.40	0.45	2.50	2.60	0.90	0.19	2.50	—	0.0008	0.0051	0.008	0.007	—
10	発明鋼	0.40	2.40	0.40	1.80	0.80	0.35	0.19	—	—	0.0009	0.0048	0.009	0.006	Al:0.03
11	発明鋼	0.40	2.40	0.40	1.80	0.80	0.35	0.19	—	—	0.0007	0.0053	0.006	0.007	Nb:0.05
12	発明鋼	0.35	2.50	0.40	1.00	3.00	0.20	0.20	—	—	0.0006	0.0064	0.008	0.009	—
13	発明鋼	0.33	3.00	0.41	1.80	3.00	0.45	0.20	—	—	0.0006	0.0070	0.006	0.007	—
14	発明鋼	0.34	3.05	0.42	0.60	3.80	0.41	0.19	—	—	0.0007	0.0072	0.006	0.005	—
15	発明鋼	0.35	2.75	0.45	1.87	3.10	0.44	0.21	—	—	0.0005	0.0056	0.008	0.009	—
16	発明鋼	0.35	2.50	0.40	1.00	3.00	0.20	0.20	3.00	—	0.0009	0.0049	0.005	0.007	—

【表2】

No	鋼種	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Co	Cu	O	N	P	S	その他
17	比較鋼	0.28	2.20	0.20	0.50	1.00	0.20	0.18	—	—	0.0012	0.0066	0.008	0.009	—
18	比較鋼	0.55	2.20	0.20	1.50	1.20	0.30	0.18	—	—	0.0010	0.0070	0.010	0.009	—
19	比較鋼	0.41	2.30	0.40	—	0.80	0.40	0.20	—	—	0.0009	0.0061	—	—	—
20	比較鋼	0.40	0.80	0.80	1.50	1.30	0.40	0.19	—	—	0.0009	0.0065	0.008	0.009	—
21	比較鋼	0.40	2.30	0.80	1.50	1.30	0.30	0.18	—	—	0.0007	0.0059	0.009	0.009	—
22	比較鋼	0.41	2.30	0.10	1.50	1.30	0.30	0.18	—	—	0.0006	0.0057	0.007	0.006	—
23	比較鋼	0.42	2.25	0.43	4.50	0.90	0.30	0.18	—	—	0.0009	0.0063	0.008	0.007	—
24	比較鋼	0.41	2.40	0.40	1.80	0.10	0.30	0.19	—	—	0.0013	0.0061	0.006	0.005	—
25	比較鋼	0.38	2.20	0.39	2.00	1.00	0.00	0.22	—	—	0.0012	0.0055	0.008	0.005	—
26	比較鋼	0.40	2.20	0.42	2.10	0.20	2.30	0.19	—	—	0.0014	0.0048	0.005	0.008	—
27	比較鋼	0.40	2.38	0.41	1.87	0.75	0.51	0.21	—	—	0.0011	0.0056	0.010	0.012	—
28	比較鋼	0.48	2.40	0.45	2.50	2.60	0.90	0.19	—	—	0.0012	0.0059	0.008	0.009	—
29	比較鋼	0.40	2.40	0.44	1.85	0.80	0.48	0.18	—	—	0.0014	0.0052	0.025	0.015	—
30	比較鋼	0.40	2.40	0.44	1.85	0.80	0.48	0.18	—	—	0.0019	0.0153	0.012	0.015	—
31	比較鋼	0.40	2.40	0.44	1.85	0.80	0.48	0.18	—	—	0.0023	0.0067	0.011	0.013	—

【表3】

No	鋼 種	(1) 式	(2) 式	介在物数 $\geq 20 \mu m$	RA %	TS kgf/mm ²	残留剪断歪	疲労限 kgf/mm ²	孔食深さ μm
1	発明鋼	349.9	158.2	0	43	211	9.8×10^{-4}	84.0	144
2	発明鋼	341.1	230.0	1	45	203	9.9×10^{-4}	82.0	87
3	発明鋼	322.3	161.5	0	38	213	7.2×10^{-4}	86.0	—
4	発明鋼	348.1	218.0	5	40	216	5.4×10^{-4}	83.0	—
5	発明鋼	321.1	172.0	7	43	208	8.9×10^{-4}	88.0	—
6	発明鋼	360.3	152.5	0	43	213	9.7×10^{-4}	86.0	—
7	発明鋼	341.7	174.0	0	40	213	8.4×10^{-4}	85.0	125
8	発明鋼	346.1	166.5	0	43	213	8.6×10^{-4}	85.0	—
9	発明鋼	352.7	238.5	3	45	216	8.2×10^{-4}	88.0	82
10	発明鋼	352.7	157.0	7	42	214	9.1×10^{-4}	86.0	—
11	発明鋼	352.7	157.0	4	40	218	7.9×10^{-4}	90.0	—
12	発明鋼	340.6	235.0	1	45	203	10.5×10^{-4}	87.0	86
13	発明鋼	330.6	282.0	0	43	207	9.5×10^{-4}	88.0	65
14	発明鋼	330.4	287.5	0	40	213	7.8×10^{-4}	88.0	62
15	発明鋼	319.5	273.2	0	42	208	8.7×10^{-4}	86.0	73
16	発明鋼	338.8	235.0	4	39	216	9.4×10^{-4}	89.0	69

【0038】

* * 【表4】

No	鋼 種	(1) 式	(2) 式	介在物数 $\geq 20 \mu m$	RA %	TS kgf/mm ²	残留剪断歪	疲労限 kgf/mm ²	孔食深さ μm
17	比較鋼	405.9	130.5	12	45	185	22.4×10^{-4}	75.0	—
18	比較鋼	307.2	140.5	13	28	203	10.7×10^{-4}	81.0	157
19	比較鋼	379.4	106.0	11	43	198	17.0×10^{-4}	78.0	—
20	比較鋼	333.7	89.5	7	42	195	17.6×10^{-4}	78.0	189
21	比較鋼	334.8	164.5	8	40	205	11.3×10^{-4}	84.0	—
22	比較鋼	355.2	163.5	0	38	190	18.1×10^{-4}	75.0	—
23	比較鋼	297.7	219.0	4	41	193	12.3×10^{-4}	76.0	—
24	比較鋼	363.9	128.0	18	37	190	19.8×10^{-4}	77.0	—
25	比較鋼	356.2	162.0	15	38	195	17.4×10^{-4}	79.0	—
26	比較鋼	317.5	170.5	16	28	190	8.8×10^{-4}	76.0	—
27	比較鋼	350.5	155.8	17	40	212	10.2×10^{-4}	78.0	—
28	比較鋼	270.4	238.5	12	31	193	7.1×10^{-4}	77.0	—
29	比較鋼	349.9	158.2	8	24	214	—	82.0	—
30	比較鋼	349.9	158.2	18	32	217	—	78.0	—
31	比較鋼	329.9	158.2	29	38	213	—	73.0	—

【0039】表1～4より次の様に考察することができる。

①C量が0.3%未満のもの（No. 17）では、強度不足で200kgf/mm²以上の引張強度が得られない。一方、C量が0.5%を超えるもの（No. 18）では、引張強度は200kgf/mm²となるが、絞り値（RA）が大幅に悪くなる。またSi, Mn, Ni, Cr, Moについても夫々の含有量が不足するもの（No. 19, 20, 22,

24, 25, 26）でも、やはり200kgf/mm²以上の引張強度が得られない。またNo. 28のデータからも明らかである様に、各元素量が規定要件を満たすものであっても、(1)式の要件を欠くものでは焼入れが不十分となって熱処理後の強度が十分に上がらない。

【0040】②耐へたり性の指標となる残留剪断歪の値を比較すると、本発明鋼は比較鋼に比べて高強度であるにもかかわらず優れた耐へたり特性を有していることが

分かる。またNo. 11に見られる様に、鋼中に適量のNbを含有させると残留剪断歪が一段と小さくなり、耐へたり性の向上に有効であることが分かる。

【0041】③回転曲げ疲労特性（疲労限： kgf/mm^2 ）については、鋼中に存在する粗大な酸化物系介在物の影響が顕著に表われている。即ち疲労強度は母材強度が高くなるにつれて増加する傾向があるが引張強度 $200\text{kgf}/\text{mm}^2$ レベル以上の高強度のものになると、酸化物系介在物のうち被検面積 160mm^2 内における平均粒子径 $20\mu\text{m}$ 以上の粗大物の数によって疲労特性は著しく変わり、その数が10個以上になると（No. 17, 18, 19, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31）疲労強度は明らかに悪くなっている。また平均粒子径が $50\mu\text{m}$ を超えるより粗大な酸化物系介在物は一層疲労亀裂の起点となり易く、疲労特性を著しく劣化させることも確認している。

【0042】尚図1は表1～4におけるNo. 1の本発明鋼とNo. 30, 31の比較鋼（平均粒子径 $20\mu\text{m}$ 以上の酸化物系介在物の個数を変えたもの）についての回転曲げ疲労試験結果をグラフ化して示したもの、図2～4は同じくNo. 1, 30, 31の各鋼における酸化物系介在物の平均粒子径とその分布を示したものであり、これらの図からも粗大な酸化物系介在物が存在することによって、疲労特性に顕著な悪影響が表われることが分か

＊る。

【0043】④次に腐食試験結果については、本発明鋼の中でも前記(2)式の要件を満たすもの（No. 2, 9, 12, 13, 14, 15, 16）は、たとえばNo. 18, 20の比較鋼に比べて孔食深さが著しく少なく、耐腐食特性に優れたものであることが分かる。尚No. 7は、No. 1に相当する鋼中に適量のCuを含有させたものであって、No. 1よりも孔食深さが減少しており、Cuの耐食性改善効果が現れている。

10 【0044】

【発明の効果】本発明は以上の様に構成されており、 $200\text{kgf}/\text{mm}^2$ レベル以上の引張強度を示し、しかも耐疲労特性、耐へたり特性および耐腐食疲労特性の非常に良好な高強度ばねを得ることのできるばね用鋼を提供し得ることになった。

【図面の簡単な説明】

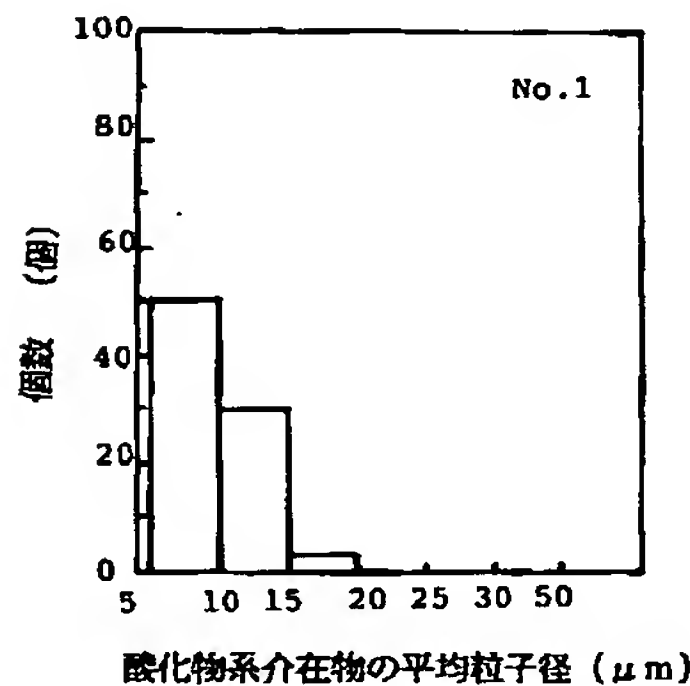
【図1】実験例で得たばね用鋼の回転曲げ試験結果を示すグラフである。

【図2】実験No. 1のばね用鋼に含まれる酸化物系介在物の平均粒子径とその分布を示すグラフである。

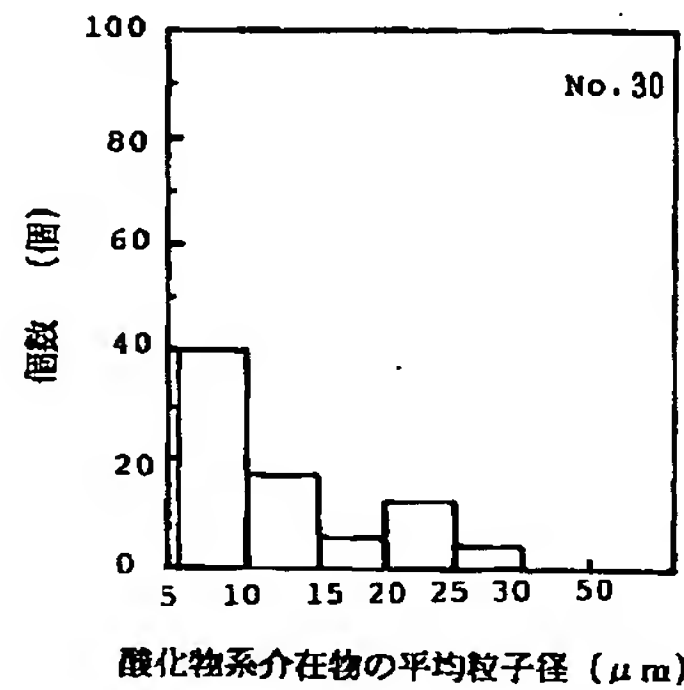
20 【図3】実験No. 30のばね用鋼に含まれる酸化物系介在物の平均粒子径とその分布を示すグラフである。

＊ 【図4】実験No. 31のばね用鋼に含まれる酸化物系介在物の平均粒子径とその分布を示すグラフである。

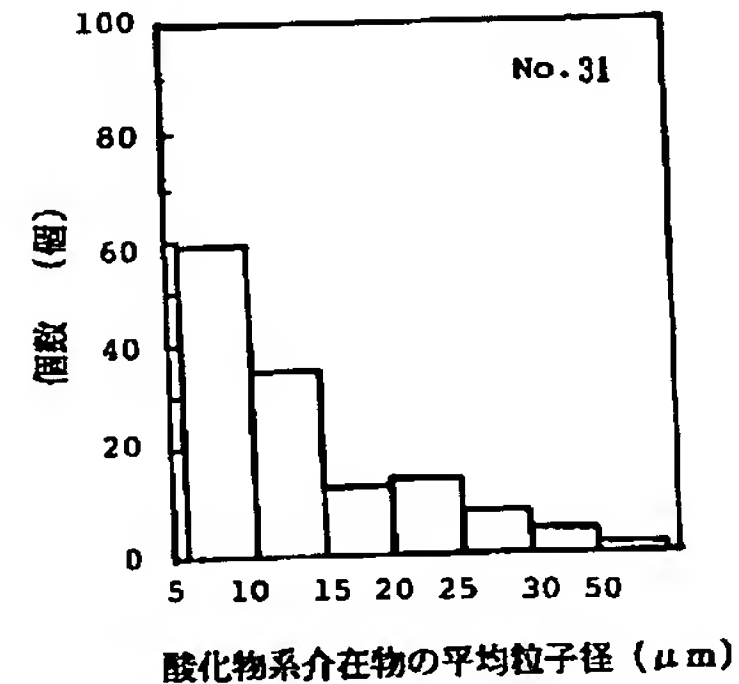
【図2】



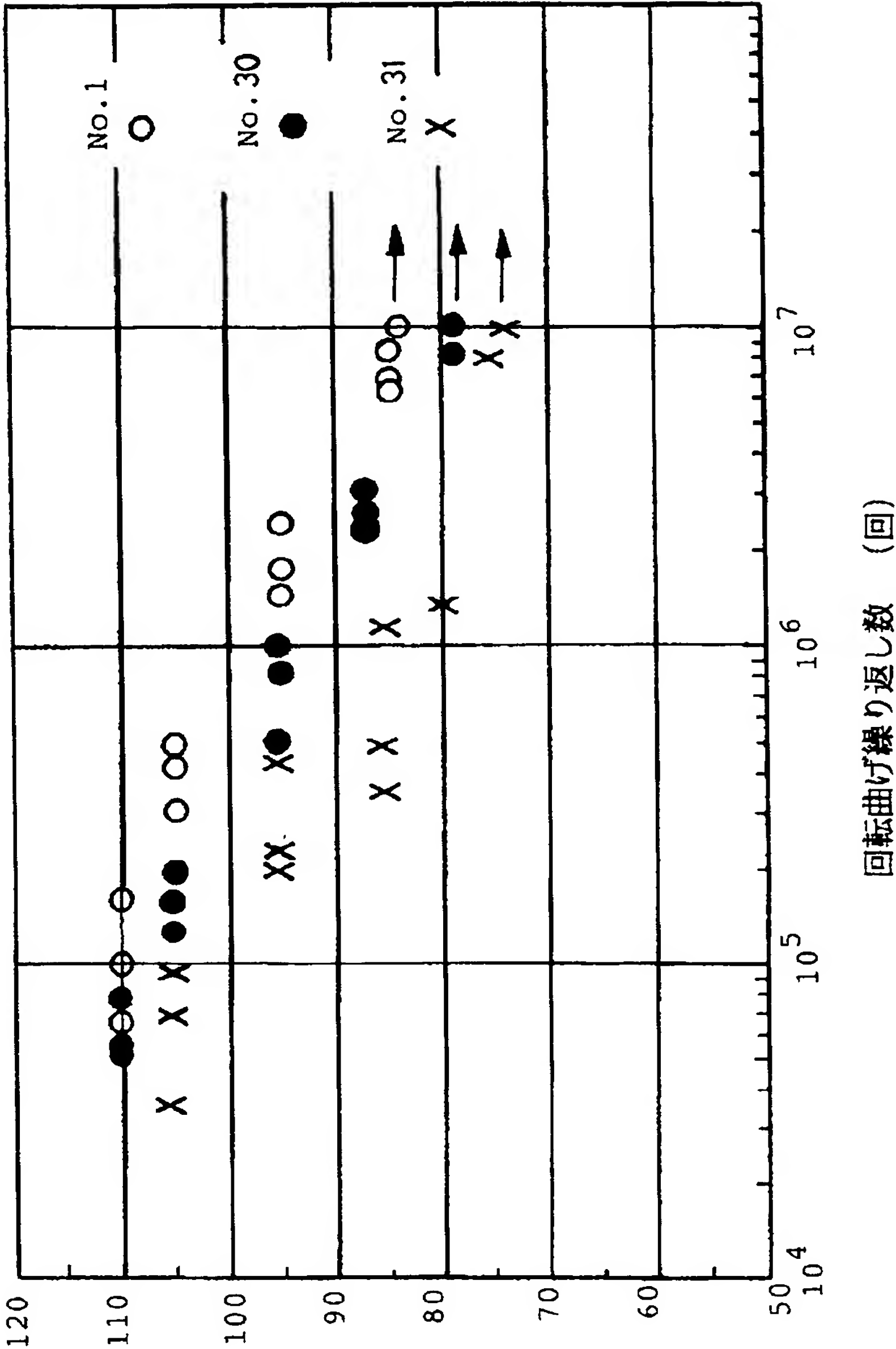
【図3】



【図4】



【図 1】



フロントページの続き

(72)発明者 下津佐 正貴
兵庫県神戸市灘区灘浜東町 2 番地 株式
会社神戸製鋼所神戸製鉄所内

(72)発明者 中山 武典
兵庫県神戸市西区高塚台 1 丁目 5 番 5 号
株式会社神戸製鋼所 神戸総合技術研
究所内

(72)発明者 大西 新一
 兵庫県神戸市西区高塚台 1 丁目 5 番 5 号
 株式会社神戸製鋼所 神戸総合技術研
 究所内